$\boxed{1}$

問 1 ばねの伸びを $\Delta x$ とする．物体 AB にはたらく弾性力と最大静止摩擦力のつり合いの式より

$$k\Delta x = \mu \times 2mg \qquad \therefore \quad \Delta x = \boldsymbol{\frac{2\mu mg}{k}}$$

問 2 台を固定したときの台の座標は $l + \dfrac{2\mu mg}{k}$ である．すると，AB が $x = \dfrac{2\mu mg}{k}$ にあるときにばねは自然長となる．AB が $x$ にあるときの加速度を $a$ として運動方程式を立てると

$$2ma = -k\left(x - \frac{2\mu mg}{k}\right)$$

よって，AB は中心 $\dfrac{2\mu mg}{k}$，角振動数 $\omega' = \sqrt{\dfrac{k}{2m}}$，周期 $2\pi\sqrt{\dfrac{2m}{k}}$ の単振動をする．AB は $x = 0$ において速度 0 であったことから，ここが単振動の左端であり，振幅は $A = \dfrac{2\mu mg}{k}$ である．すると，AB の右端は $\boldsymbol{\dfrac{4\mu mg}{k}}$ となる．また，ここまでの時間は周期の $\dfrac{1}{2}$ なので，求める時間は

$$\frac{1}{2} \times 2\pi\sqrt{\frac{2m}{k}} = \boldsymbol{\pi\sqrt{\frac{2m}{k}}}$$

となる．

問 3 単振動をしている間に A と B の間にはたらく力の大きさを $N$ として，座標 $x$ における A，B それぞれの運動方程式を立てる．加速度を $a$ とすると

$$\begin{cases} \mathrm{A} : ma = -N & \cdots① \\ \mathrm{B} : ma = N - k\left(x - \dfrac{2\mu mg}{k}\right) & \cdots② \end{cases}$$

分離するとき，$N = 0$ であるから，① より，$a = 0$．さらに $a = 0$, $N = 0$ を ② に代入して，分離するときの $x$ を求めると

$$0 = 0 - k\left(x - \frac{2\mu mg}{k}\right) \qquad \therefore \quad x = \frac{2\mu mg}{k}$$

よって，このときのばねの伸びは **0**.

また，AB が動き始めてから分離するまでの時間は単振動の周期の $\dfrac{3}{4}$ なので，求める時間は

$$\frac{3}{4} \times 2\pi\sqrt{\frac{2m}{k}} = \boldsymbol{\frac{3}{2}\pi\sqrt{\frac{2m}{k}}}$$

問 4 分離直後の速さは単振動における中心での速さなので，その速さを $v_{\mathrm{A}}$ とおくと

$$v_{\mathrm{A}} = A\omega' = \frac{2\mu mg}{k} \times \sqrt{\frac{k}{2m}} = \boldsymbol{\mu g\sqrt{\frac{2m}{k}}}$$

問 5 分離後，A は等速度運動をする．分離した直後の A の位置と O との距離は $\dfrac{2\mu mg}{k}$ なので，求める時間は

$$\frac{\dfrac{2\mu mg}{k}}{v_{\mathrm{A}}} = \frac{\dfrac{2\mu mg}{k}}{\dfrac{2\mu mg}{k} \times \sqrt{\dfrac{k}{2m}}} = \boldsymbol{\sqrt{\frac{2m}{k}}}$$

問 6 分離後の B の位置 $x$ における加速度 $a'$ の運動方程式を立てると

$$ma' = -k\left(x - \frac{2\mu mg}{k}\right)$$

より，中心座標が $\dfrac{2\mu mg}{k}$，角振動数 $\omega = \sqrt{\dfrac{k}{m}}$ の単振動をする．分離直後の B の速さは A と同じ $\dfrac{2\mu mg}{k} \times \sqrt{\dfrac{k}{2m}}$ なので，振幅を $B$ とおくと

$$\frac{2\mu mg}{k} \times \sqrt{\frac{k}{2m}} = B \times \sqrt{\frac{k}{m}} \qquad \therefore \quad B = \frac{\sqrt{2}\mu mg}{k}$$

$t = 0$ で分離したときに B は単振動の中心座標にいて負の速度をもっているので，時刻 $t$ における $x$ の式は

$$x = \frac{2\mu mg}{k} - \frac{\sqrt{2}\mu mg}{k} \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t\right)$$

であるから，$C = \boldsymbol{-\dfrac{\sqrt{2}\mu mg}{k}}$，$\omega = \boldsymbol{\sqrt{\dfrac{k}{m}}}$，$x_0 = \boldsymbol{\dfrac{2\mu mg}{k}}$

## 2

問 1 向心方向の運動方程式より

$$m\frac{V_{\mathrm{L}}^2}{R}=G\frac{Mm}{R} \qquad \therefore \quad V_{\mathrm{L}}=\sqrt{\boldsymbol{\frac{GM}{R}}}$$

問 2 $V_{\mathrm{U}}$ は無限遠に飛び去るのに必要な最低速度なので，力学的エネルギー保存則より

$$\frac{1}{2}mV_{\mathrm{U}}^2-G\frac{Mm}{R}=0+0 \qquad \therefore \quad V_{\mathrm{U}}=\sqrt{\boldsymbol{\frac{2GM}{R}}}$$

問 3 面積速度一定則より

$$\frac{1}{2}RV_0=\frac{1}{2}R'V_0' \qquad \therefore \quad R=\boldsymbol{\frac{V_0'}{V_0}R'} \quad \cdots①$$

問 4 A，B での力学的エネルギー保存則より

$$\frac{1}{2}mV_0^2-G\frac{Mm}{R}=\frac{1}{2}mV_0'^2-G\frac{Mm}{R'} \quad \cdots②$$

① より，$R'=\dfrac{V_0}{V_0'}R$ $\cdots$③ として，② に代入して $V_0'$ を求めると

$$V_0'=\boldsymbol{\frac{2GM}{RV_0}-V_0}$$

さらにこれを ③ に代入すると

$$R'=\boldsymbol{\frac{(RV_0)^2}{2GM-RV_0^2}}$$

問 5 向心方向の運動方程式より

$$(m-m_1)\cdot\frac{V_1^2}{R}=G\frac{M\cdot(m-m_1)}{R} \qquad \therefore \quad V_1=\sqrt{\boldsymbol{\frac{GM}{R}}}$$

問 6 円運動の周期の式より

$$T=\frac{2\pi R}{V_1}=\frac{2\pi R}{\sqrt{\dfrac{GM}{R}}}=\boldsymbol{2\pi R\sqrt{\frac{R}{GM}}}$$

問 7 質量体は速さ $V_0$ の探査機から見て相対的な速さ $v$ で探査機進行方向の打ち出されたので，静止した人からみた質量体の速さは $V_0+v$ である．運動量保存則より

$$mV_0=(m-m_1)V_1+m_1(V_0+v) \qquad \therefore \quad v=\left(\frac{m}{m_1}-1\right)(V_0-V_1)$$

$V_1=\sqrt{\dfrac{GM}{R}}$ を代入して

$$\therefore \quad v=\boldsymbol{\left(\frac{m}{m_1}-1\right)\left(V_0-\sqrt{\frac{GM}{R}}\right)} \quad \cdots④$$

問 8 探査機に対して質量体が無限遠に飛び去る最低速度は問 2 と同様に計算して，$v+V_0=\sqrt{\dfrac{2GM}{R}}$ である．④ の式に

おいて $m_1 = m_{\mathrm{u}}$ とし，$v = \sqrt{\dfrac{2GM}{R}} - V_0$ を代入すると

$$\sqrt{\frac{2GM}{R}} - V_0 = \left(\frac{m}{m_{\mathrm{u}}} - 1\right)\left(V_0 - \sqrt{\frac{GM}{R}}\right)$$

$$\therefore \quad m_{\mathrm{u}} = \boldsymbol{\frac{V_0 - \sqrt{\dfrac{GM}{R}}}{(\sqrt{2}-1)\sqrt{\dfrac{GM}{R}}}m}$$

問 9 打ち出し直後の質量体の速度は

$$V_0 + v = V_0 + \left(\frac{m}{m_1} - 1\right)\left(V_0 - \sqrt{\frac{GM}{R}}\right) = V_0 + \left(\frac{m}{m_1} - 1\right)(V_0 - V_1) = \frac{mV_0 - (m - m_1)V_1}{m_1}$$

よって，

$$\begin{aligned}\Delta E &= \frac{1}{2}(m - m_1)V_1^2 + \frac{1}{2}m_1 \cdot \left\{\frac{mV_0 - (m - m_1)V_1}{m_1}\right\}^2 - \frac{1}{2}mV_0^2 \\ &= \frac{m(m - m_1)}{2m_1}(V_0 - V_1)^2\end{aligned}$$

よって，$C = \boldsymbol{\dfrac{m(m - m_1)}{2m_1}}$ [*1]

---

[*1] 分裂直前後では運動量が保存するため，重心の運動エネルギーは変化せずに，相対運動のエネルギーのみが変化する．この相対運動のエネルギー変化分が $\Delta E$ となる．
打ち出し直後の探査機に対する質量体の相対速度は

$$v + V_0 - V_1 = \left(\frac{m}{m_1} - 1\right)(V_0 - V_1) + V_0 - V_1 = \frac{m}{m_1}(V_0 - V_1)$$

換算質量が $\dfrac{m_1(m - m_1)}{m}$ なので，相対運動のエネルギーは

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{m_1(m - m_1)}{m} \cdot \left\{\frac{m}{m_1}(V_0 - V_1)\right\}^2 = \frac{m(m - m_1)}{2m_1}(V_0 - V_1)^2$$

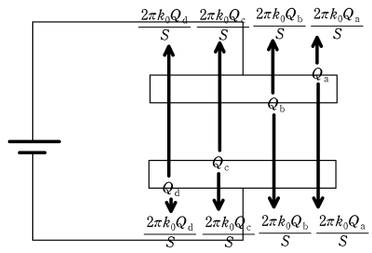
3

**A**

問 1 ガウスの法則より，電荷 $Q_\mathrm{b}$ が面 b の下側につくる電場の大きさ $E_\mathrm{b}$ は

$$E_\mathrm{b}\times 2S = 4\pi k_0 Q_\mathrm{b} \qquad \therefore\quad E_\mathrm{b} = \boldsymbol{\frac{2\pi k_0 Q_\mathrm{b}}{S}}$$

問 2 $Q_\mathrm{a}$, $Q_\mathrm{b}$, $Q_\mathrm{c}$, $Q_\mathrm{d}$ がつくる電場は図のようになる．極板内の電場が 0 である式を立てると




$$\begin{cases}\dfrac{2\pi k_0}{S}(Q_\mathrm{a}-Q_\mathrm{b}-Q_\mathrm{c}-Q_\mathrm{d})=0\\ \dfrac{2\pi k_0}{S}(Q_\mathrm{a}+Q_\mathrm{b}+Q_\mathrm{c}-Q_\mathrm{d})=0\end{cases}$$

$$\therefore\quad \begin{cases}Q_\mathrm{a}-Q_\mathrm{b}-Q_\mathrm{c}-Q_\mathrm{d}=0 & \cdots①\\ Q_\mathrm{a}+Q_\mathrm{b}+Q_\mathrm{c}-Q_\mathrm{d}=0 & \cdots②\end{cases}$$

また，電荷保存則より

$$Q_\mathrm{a}+Q_\mathrm{b}+Q_\mathrm{c}+Q_\mathrm{d}=0 \quad \cdots③$$

①〜③ より，$Q_\mathrm{b}+Q_\mathrm{c}=0$　…④, $Q_\mathrm{a}=Q_\mathrm{d}=0$ を得る．よって

$$\frac{Q_\mathrm{a}}{Q_\mathrm{b}}=\boldsymbol{0},\quad \frac{Q_\mathrm{c}}{Q_\mathrm{b}}=\boldsymbol{-1},\quad \frac{Q_\mathrm{d}}{Q_\mathrm{b}}=\boldsymbol{0}$$

問 3 極板間の電場は下向きに

$$\frac{2\pi k_0}{S}(Q_\mathrm{a}+Q_\mathrm{b}-Q_\mathrm{c}-Q_\mathrm{d})=\frac{2\pi k_0}{S}(Q_\mathrm{b}-Q_\mathrm{c})$$

である．キルヒホッフの法則より

$$V-\frac{2\pi k_0}{S}(Q_\mathrm{b}-Q_\mathrm{c})\times l=0 \qquad \therefore\quad Q_\mathrm{b}-Q_\mathrm{c}=\frac{1}{2\pi k_0}\cdot\frac{S}{l}V \quad \cdots⑤$$

④, ⑤ より

$$Q_\mathrm{b}=\boldsymbol{\frac{1}{4\pi k_0}\cdot\frac{S}{l}V}$$

問 4

$$U=\frac{1}{2}Q_\mathrm{b}V=\boldsymbol{\frac{1}{8\pi k_0}\cdot\frac{S}{l}V^2}$$

問 5 極板内の内部の電場は 0 なので，①, ② の式は成り立つ．また，極板 d を接地しているので，d の下側の電場は 0 だから

$$\frac{2\pi k_0}{S}(Q_\mathrm{a}+Q_\mathrm{b}+Q_\mathrm{c}+Q_\mathrm{d})=0$$

$$\therefore\quad Q_\mathrm{a}+Q_\mathrm{b}+Q_\mathrm{c}+Q_\mathrm{d}=0 \quad \cdots⑥$$

①, ②, ⑥ より

$$\frac{Q_\mathrm{a}}{Q_\mathrm{b}}=\boldsymbol{0},\quad \frac{Q_\mathrm{c}}{Q_\mathrm{b}}=\boldsymbol{-1},\quad \frac{Q_\mathrm{d}}{Q_\mathrm{b}}=\boldsymbol{0}$$

## B

問 1 極板間の距離を $l$，真空の誘電率を $\varepsilon_0$，誘電体の比誘電率を $\varepsilon_{\mathrm{r}}$ とする．誘電体を挿入していない場合と誘電体で満たされた場合の静電容量が $C_0$, $C_1$ なので

$$C_0 = \varepsilon_0 \frac{a^2}{l}, \qquad C_1 = \varepsilon_{\mathrm{r}} C_0$$

$$\therefore \quad \frac{\varepsilon_0}{l} = \frac{C_0}{a^2} \quad \cdots① \quad , \quad \varepsilon_{\mathrm{r}} = \frac{C_1}{C_0} \quad \cdots②$$

図 2 の左側部分の静電容量は $C_{\mathrm{L}} = \varepsilon_0 \dfrac{ax}{l}$，右側部分の静電容量は $C_{\mathrm{R}} = \varepsilon_{\mathrm{r}}\varepsilon_0 \dfrac{a(a-x)}{l}$ なので，並列合成して

$$C(x) = \varepsilon_0 \frac{ax}{l} + \varepsilon_{\mathrm{r}}\varepsilon_0 \frac{a(a-x)}{l}$$

①, ② より

$$= \frac{x}{a} C_0 + \frac{a-x}{a} C_1 = \boldsymbol{-\frac{C_1 - C_0}{a} x + C_1}$$

問 2 静電エネルギー変化は

$$\Delta U = \boldsymbol{\frac{1}{2}\{C(x+d) - C(x)\}V^2}$$

問 3 誘電体の左端が $x$ の位置のときのコンデンサーに蓄えられている電荷を $Q(x)$ とする．コンデンサーの基本式より

$$Q(x) = C(x)V, \qquad Q(x+d) = C(x+d)V$$

であり，$C(x) > C(x+d)$ より，$Q(x) > Q(x+d)$ である．上側極板から電池に移動する電気量は，コンデンサーの電荷の減少分なので

$$\Delta Q = Q(x) - Q(x+d) = \boldsymbol{\{C(x) - C(x+d)\}V}$$

問 4 $Q(x)$ から $Q(x+d)$ に変化するときに電池は負の仕事をしている．電池がした仕事を $W_{\mathrm{E}}$ として

$$W_{\mathrm{E}} = -V \cdot \Delta Q = -\{C(x) - C(x+d)\}V^2$$

外力がした仕事と電池がした仕事の和は静電エネルギー変化に等しいので

$$Fd + W_{\mathrm{E}} = \Delta U$$

$$\therefore \quad Fd - \{C(x) - C(x+d)\}V^2 = \frac{1}{2}\{C(x+d) - C(x)\}V^2$$

$$\therefore \quad F = \frac{C(x) - C(x+d)}{2d} V^2$$

$C(x) = -\dfrac{C_1 - C_0}{a} x + C_1$, $C(x+d) = -\dfrac{C_1 - C_0}{a}(x+d) + C_1$ を代入して

$$F = \boldsymbol{\frac{C_1 - C_0}{2a} V^2}$$

$\boxed{4}$

## A

$\boxed{3}$ B の問題と同じ．

## B

問 1 極板などの質量は無視できることから，極板間の距離が $2l$ の時点では，ばねは自然長であった．極板間の距離が $y_0$ になったときのばねの伸びは $2l - y_0$ だから，

$$F_0 = \boldsymbol{k(2l - y_0)}$$

問 2 極板間の電場の大きさは $E$ なので，電位差は $Ey_0$．コンデンサーの基本式より

$$Q = C_{\mathrm{R}} E y_0 \qquad \therefore \quad C_{\mathrm{R}} = \boldsymbol{\frac{Q}{Ey_0}}$$

問 3 下側極板の電荷がコンデンサー内につくる電場は下向きに $\dfrac{E}{2}$ である．よって，上側極板にはたらく静電気力は

$$F_1 = -Q \times \frac{E}{2} = \boldsymbol{-\frac{1}{2}QE}$$

問 4 $\mathrm{C_L}$ の上側極板に蓄えている電荷を $Q_2$ とする．また，$\mathrm{C_R}$ 側の電場の大きさが $E_1$ のとき，電位差は $E_1 y$．真空の誘電率を $\varepsilon_0$，極板の面積を $S$ として，電荷保存則とコンデンサーの基本式より

$$\begin{cases} Q_1 + Q_2 = Q \\ Q_1 = \varepsilon_0 \dfrac{S}{y} \times E_1 y \\ Q_2 = \varepsilon_0 \dfrac{S}{l} \times E_1 y \end{cases} \qquad \therefore \quad Q_1 = \boldsymbol{\frac{l}{y+l}Q}, \qquad E_1 = \frac{1}{\varepsilon_0 S} \cdot \frac{l}{y+l} Q$$

一方，$E = \dfrac{Q}{\varepsilon_0 S}$ なので，

$$E_1 = \boldsymbol{\frac{l}{y+l}E}$$

問 5 $y = \dfrac{7}{4}l$ より

$$Q_1 = \frac{l}{\frac{7}{4}l + l} Q = \frac{4}{11}Q, \qquad E_1 = \frac{l}{\frac{7}{4}l + l} E = \frac{4}{11}E$$

したがって，$\mathrm{C_R}$ の上側極板にはたらく静電気力は下向きにはたらき，その大きさ $F_2$ は

$$F_2 = Q_1 \times \frac{E}{2} = \frac{8}{121}QE \quad \cdots①$$

一方，弾性力は上向きにはたらく．その大きさ $F_3$ は

$$F_3 = k(2l - y) = k\left(2l - \frac{7}{4}l\right) = \frac{1}{4}kl \quad \cdots②$$

スイッチを入れる前の弾性力と静電気力のつり合いの式より

$$k(2l-y_0)=\frac{1}{2}QE \qquad \therefore \quad k=\frac{QE}{2(2l-y_0)} \quad \cdots③$$

③ を ② に代入すると,

$$F_3=\frac{1}{4}\cdot\frac{QE}{2(2l-y_0)}\cdot l=\frac{l}{8(2l-y_0)}\cdot QE \quad \cdots④$$

①, ④ より，$C_R$ の上側極板のつり合いの式を立てると

$$\frac{8}{121}QE=\frac{l}{8(2l-y_0)}\cdot QE \qquad \therefore \quad y_0=\boldsymbol{\frac{7}{64}l}$$

5

問 1 初期状態の気体の体積を $V_1$ とすると，理想気体の状態方程式より

$$p_0V_1 = nRT \qquad \therefore \quad V_1 = \boldsymbol{\frac{nRT}{p_0}}$$

問 2 仕切り板は液面より深さ $|y_0| = -y_0$ の場所にある．深さ $-y_0$ での水圧を $p'$ とすると，深さ $-y_0$ の単位面積あたりにはたらく力のつり合い考えて

$$p' = \rho\cdot(-y_0)\cdot g + p = p - \rho y_0 g$$

仕切り板のつり合いの式を考えれば $p' = p_0$ より

$$p - \rho y_0 g = p_0 \qquad \therefore \quad y_0 = \boldsymbol{-\frac{p_0 - p}{\rho g}}$$

問 3 断熱材で覆った後の変化は断熱変化である．仕切り板が $y = y_1$ になったときの気体の体積を $V_2$ とすると，ポアソンの式より

$$\alpha p_0\cdot V_2^{\frac{5}{3}} = p_0\cdot\left(\frac{nRT}{p_0}\right)^{\frac{5}{3}} \qquad \therefore \quad V_2 = \boldsymbol{\alpha^{-\frac{3}{5}}\cdot\frac{nRT}{p_0}}$$

問 4 温度を $T_2$ として，理想気体の状態方程式より

$$\alpha p_0 \times \alpha^{-\frac{3}{5}}\cdot\frac{nRT}{p_0} = nRT_2 \qquad \therefore \quad T_2 = \boldsymbol{\alpha^{\frac{2}{5}}\cdot T}$$

問 5 内部エネルギー変化を $\Delta U_{12}$，気体が外部にした仕事を $W_{12}$ とする．熱力学第一法則より

$$\Delta U_{12} = 0 - W_{12} \qquad \therefore \quad W_{12} = -\Delta U_{12} \quad \cdots①$$

一方，内部エネルギー変化 $\Delta U_{12}$ は

$$\Delta U_{12} = \frac{3}{2}nR(T_2 - T) = \boldsymbol{\frac{3}{2}nR\left(\alpha^{\frac{2}{5}} - 1\right)T}$$

① より

$$W_{12} = -\Delta U_{12} = \boldsymbol{\frac{3}{2}nR\left(1 - \alpha^{\frac{2}{5}}\right)T}$$

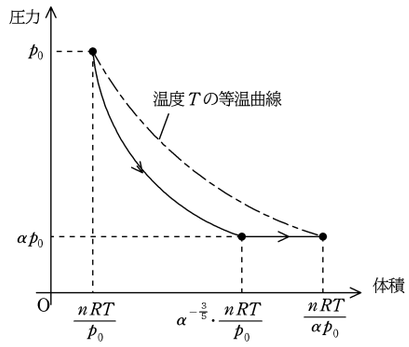
[*2]

問 6 断熱材を外した後，気体は大気や液体と等しい温度 $T$ となる．また，仕切り板の位置が変化しなかったことから，仕切り板を押す下側からの力（液体が押す力）は変化しないので，上側から押す力も変化しない．つまり，この間，圧力は変化しない．このときの体積を $V_3$ として，シャルルの法則より

$$\frac{V_3}{T} = \frac{V_2}{\alpha^{\frac{2}{5}}T} \qquad \therefore \quad \frac{V_3}{V_2} = \boldsymbol{\alpha^{-\frac{2}{5}}}$$

問 7 断熱材を外してから十分時間が経つまでの内部エネルギー変化を $\Delta U_{23}$，気体が外部にした仕事を $W_{23}$，吸収した熱量を $Q_{23}$ とする．

[*2] $0 < \alpha < \dfrac{p}{p_0}$ と $p < p_0$ より，$\alpha < 1$ だから，$\alpha p_0 < p_0$ となる．圧力が減少しているので，断熱膨張で，気体は正の仕事をする．




また，問 6 より，$V_3 = \alpha^{-\frac{2}{5}} V_2 = \dfrac{nRT}{\alpha p_0}$ である．$W_{23}$ は

$$W_{23} = \alpha p_0 \times \left( \frac{nRT}{\alpha p_0} - \alpha^{-\frac{3}{5}} \cdot \frac{nRT}{p_0} \right) = (1 - \alpha^{\frac{2}{5}}) \cdot nRT$$

$\Delta U_{23}$ は

$$\Delta U_{23} = \frac{3}{2} nR(T - T_2) = \frac{3}{2}(1 - \alpha^{\frac{2}{5}}) nRT$$

熱力学第一法則より

$$Q_{23} = \Delta U_{23} + W_{23} = \boldsymbol{\frac{5}{2}(1 - \alpha^{\frac{2}{5}}) nRT}$$

6

**A**

問 1 波の基本式より $\boldsymbol{\dfrac{c}{\lambda}}$

問 2

$$d_{\mathrm{A'B'}} - d_{\mathrm{AB}} = a\sin\theta' - a\sin\theta = \boldsymbol{a(\sin\theta' - \sin\theta)}$$

問 3 強め合いの条件より

$$\frac{2\pi}{\lambda} \times a(\sin\theta_m - \sin\theta) = 2\pi m \qquad \therefore \quad a(\sin\theta_m - \sin\theta) = m\lambda$$

$\sin\theta_m \fallingdotseq \theta_m$, $\sin\theta \fallingdotseq \theta$ より

$$\therefore \quad a(\theta_m - \theta) = m\lambda \qquad \therefore \quad \theta_m = \boldsymbol{\theta + \frac{m\lambda}{a}} \quad \cdots①$$

問 4 回折格子に垂直な直線とスクリーンの交点を原点にとり，スクリーン上に $z$ 軸をとる．ただし，図 2 おいて，上方向を $z$ 軸の正方向とする．また，$m$ 次回折光の $z$ 座標を $z_m$ とすると，

$$\tan\theta_m = \frac{z_m}{L} \qquad \therefore \quad \theta_m \fallingdotseq \frac{z_m}{L} \quad \cdots②$$

①, ② より

$$z_m = L\theta + \frac{L\lambda}{a}m$$

よって，明線間隔 $\Delta z$ は

$$\Delta z = \boldsymbol{\frac{L\lambda}{a}}$$

問 5 問 4 より，$\lambda = \dfrac{a\Delta y}{L}$ である．ここに，$\Delta z = 36[\mathrm{mm}] = 36 \times 10^{-3}[\mathrm{m}]$, $a = 24[\mathrm{mum}] = 24 \times 10^{-6}[\mathrm{m}]$, $\mathrm{L} = 125[\mathrm{cm}] = 125 \times 10^{-2}[\mathrm{m}]$ を代入して

$$\lambda = \frac{(24 \times 10^{-6}[\mathrm{m}]) \times (36 \times 10^{-3}[\mathrm{m}])}{125 \times 10^{-2}[\mathrm{m}]} \fallingdotseq \boldsymbol{6.9 \times 10^{-7}\,\mathrm{m}}$$

問 6 ① 式より

$$\theta_1 = \theta + \frac{\lambda}{a}, \qquad \theta_0 = \theta, \qquad \theta_{-1} = \theta - \frac{\lambda}{a}$$

である．$\theta_1$ の式から，波長が大きいほど $\theta_1$ が大きくなる．よって，波長が大きい赤は上側に，波長が小さい青が下側にくる．

$\theta_0$ の式は波長によらず，すべての色が $\theta$ の角度に集まることを意味する．よって，白色となる．

$\theta_{-1}$ の式から，波長が大きいほど $\theta_{-1}$ が小さくなるので，$m = 1$ のときとは逆に上側が 青，下側が赤となる．

以上から，適する選択肢は **(b)**

## B

問 1 $\boxed{6}$ の **A** の ① 式において，$m=-1$, $\lambda \to \lambda_0$ として，

$$\theta_{-1}=\theta-\frac{\lambda_0}{a} \quad \cdots③$$

である．$x$ 軸と交わるための条件 $\theta_{-1}<0$ を考えると

$$\theta-\frac{\lambda_0}{a}<0 \qquad \therefore \quad \theta<\frac{\lambda_0}{a}$$

よって，$\theta_{\mathrm{c}}=\boldsymbol{\dfrac{\lambda_0}{a}}$

問 2 図 3 より，$\tan\theta=\dfrac{y}{p}$ だから，$\theta \fallingdotseq \dfrac{y}{p}$ となる．また，$\tan\theta_{-1}=-\dfrac{y}{q}$ だから，$\theta_{-1} \fallingdotseq -\dfrac{y}{q}$．これらを ③ 式に代入して

$$-\frac{y}{q}=\frac{y}{p}-\frac{\lambda_0}{a} \qquad \therefore \quad a=\boldsymbol{\frac{pq\lambda_0}{(p+q)y}}$$

問 3 レンズの式より

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{q}=\frac{1}{f} \qquad \therefore \quad f=\boldsymbol{\frac{pq}{p+q}} \quad \cdots④$$

問 4 ③ 式において，$\theta_{-1}=-\dfrac{y}{x}$，$\theta=\dfrac{y}{p}$，$\lambda_0 \to \lambda$, $a=\dfrac{pq\lambda_0}{(p+q)y}$ として

$$-\frac{y}{x}=\frac{y}{p}-\lambda\times\frac{(p+q)y}{pq\lambda_0} \qquad \therefore \quad x=\boldsymbol{\frac{pq\lambda_0}{(p+q)\lambda-q\lambda_0}}$$

問 5 波長 $\lambda$ の焦点距離を $f'$ とすると，レンズの式より

$$\frac{1}{f'}=\frac{1}{p}+\frac{1}{x}=\frac{1}{p}+\frac{(p+q)\lambda-q\lambda_0}{pq\lambda_0}=\left(\frac{1}{p}+\frac{1}{q}\right)\frac{\lambda}{\lambda_0}$$

④ を代入して

$$\therefore \quad f'=\boldsymbol{\frac{\lambda_0}{\lambda}f}$$